

## RANCANG BANGUN MODEL ALAT UJI TERAS REAKTOR NUKLIR *SMALL MODULAR REACTOR (SMR)*

Erwin Dermawan<sup>1,\*</sup>, Ery Diniardi<sup>2</sup>, Anwar Ilmar Ramadhan<sup>3</sup>,  
Syawaluddin<sup>4</sup>, Muhammad Arifangga<sup>5</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

<sup>3,4,5</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

Jl. Cempaka Putih Tengah No.27 Jakarta 10510

\*[erwindermawan@yahoo.com](mailto:erwindermawan@yahoo.com)

### ABSTRAK

Kinerja perpindahan panas yang buruk akan berdampak buruk pada sistem reaktor yang selanjutnya dapat berdampak pada pelepasan zat radioaktif ke lingkungan sekitar sehingga dapat membahayakan keselamatan lingkungan dan makhluk hidup yang ada disekitar reaktor. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat atau merancang bangun model alat uji pada teras reaktor nuklir dalam skala laboratorium dengan asumsi panas silinder berasal dari energi listrik sehingga tidak membahayakan lingkungan sekitar. Metode yang digunakan dalam penyelesaian rancang bangun model alat uji teras reaktor ialah studi literatur, membuat konsep perancangan alat uji dan selanjutnya merancang bangun. Setelah rancang bangun selesai maka tahap selanjutnya pengoperasian alat uji untuk mengetahui peformansi alat uji tersebut. Hasil perbandingan antara eksperimental dengan simulasi pada kondisi konveksi paksa dengan fluks panas 500000 W/m<sup>2</sup> pada kecepatan 0,3 m/s menghasilkan selisih temperatur fluida antara 0,00001 K sampai dengan 0,8 K. Pada konveksi alamiah hasil perbandingan antara eksperimental dengan simulasi pada fluks panas 500000 W/m<sup>2</sup> dengan kecepatan 0,3 m/s menghasilkan selisih antara 0,1 K sampai dengan 28 K. Semakin kecil selisih temperatur fluida antara eksperimental dengan simulasi, maka semakin baik performansi alat uji.

**Kata kunci :** *Rancang Bangun, Sub buluh, Alat uji, Eksperimental, CFD*

### ABSTRACT

Heat transfer performance poor will have a negative impact on the reactor system which in turn could affect the release of radioactive substances into the surrounding environment so as to endanger the safety of the environment and living things that exist around the reactor. The purpose of this research is to create or design a testing tool wake models in a nuclear reactor core in a laboratory scale assuming cylindrical heat derived from the electrical energy that does not harm the environment. The method used in the completion design of the reactor core model of test equipment is the study of literature, making the concept design and subsequent testing tool designing wake. Once the design is complete, the next stage of the operation of test equipment to determine the performance of the test equipment. The comparison between experimental simulation on the condition of forced convection heat flux 500000 W/m<sup>2</sup> at velocity flow of 0.3 m/s produces fluid temperature difference between 0.00001 K to 0.8 K. In natural convection comparison between experimental results with simulation the heat flux 500000 W/m<sup>2</sup> at a speed of 0.3 m/s resulted in the difference between the 0.1 K to 28 K. The smaller the fluid temperature differences between the experimental simulations, the better the performance of the test equipment.

**Keywords:** *Design, Sub channel, test equipment, Experimental, CFD*

## PENDAHULUAN

Aspek termohidrolik adalah salah satu aspek terpenting dalam keselamatan rancang bangun dan pengoperasian reaktor penelitian dan reaktor daya [1]. Hal ini tentunya merupakan suatu tantangan dalam meningkatkan keselamatan rancang bangun susunan sub buluh teras reaktor nuklir supaya tragedi ledakan reaktor nuklir difukushima jepang akibat panas berlebih di silinder pemanas tidak terulang lagi. Aspek termohidrolika merupakan salah satu aspek yang di ambil dari penelitian ini, yaitu dengan melihat fenomena perpindahan panas yang terjadi dari sub buluh atau silinder pemanas dengan fluida pendingin adalah air ( $H_2O$ ) [2]. Untuk selanjutnya dilakukan perbandingan dari hasil pengujian dengan hasil dari software CFD (*Computational Fluid Dynamic*).

Dalam tinjauan pustaka yang dijadikan sebagai acuan dalam penilitian ini, diantaranya ialah penelitian tentang Studi Literatur Desain dan Teknologi Nuklir *Small Modular Reactor* (SMR) Jenis CAREM-25 yang dilakukan oleh Ery Diniardi, Anwar Ilmar Ramadhan dan Hasan Basri (2013). Energi baru dan terbarukan pada masa saat ini merupakan sebagai sumber energi yang diperlukan untuk mengatasi kekurangan pasokan listrik baik untuk rumah tangga dan industri. Untuk mengatasi kekurangan pasokan energi ini sesuai dengan PerPres No 5 tahun 2006 mengenai kebijakan energi nasional, dengan menambah keanekaragaman sumber energi selain energi fosil. Metode penelitian ini dilakukan secara studi pustaka dengan mengkaji sistem dan juga teknologi pada reaktor CAREM-25 [3]. Sehingga diperoleh hasil pengkajian secara baik untuk desain CAREM dan juga aspek termohidrolika reaktor yang sudah mempunyai sistem pendingin secara pasif dan sirkulasi alamiah. Agar dikemudian hari bangsa ini dapat membuat atau memodifikasi reaktor nuklir tipe berdaya rendah untuk masa yang akan datang.

Dalam penelitian ini akan merancang bangun alat uji susunan sub buluh segi enam dengan tujuh silinder pemanas yang disusun vertikal didalam teras reaktor dengan cangkang luar berbentuk segi enam. Dengan mengasumsikan panas untuk silinder pemanas

berasal dari energi listrik. Sehingga tidak membahayakan lingkungan sekitar. Mengetahui seberapa besar pengaruh kecepatan aliran fluida terhadap fluks panas pada silinder pemanas. Membandingkan hasil pengujian eksperimental dengan hasil simulasi untuk mengetahui performansi dari model alat uji.

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penyelesaian rancang bangun model alat uji teras reaktor pada susunan sub buluh segi enam ialah dengan menggunakan konsep desain yang sudah dibuat untuk selanjutnya di rancang bangun dan kemudian dilakukan pengoperasian untuk memastikan apakah alat uji berfungsi dengan baik atau tidak. Rancang bangun ini dilakukan dengan tahap-tahap sebagai berikut :

### a. Studi Literatur

Dengan memahami konsep rancang bangun yang sudah dilakukan sebelumnya. Yang mana hanya metode rancang bangunnya saja yang diambil dan kemudian diterapkan kedalam rancang bangun model teras reaktor. Selain itu juga, mempelajari referensi lain yang dapat memberikan solusi pada studi rancang bangun ini.

### b. Konsep Perancangan Alat Uji

Dalam rancang bangun diperlukan suatu konsep perancangan yang mana nantinya konsep tersebut dapat di realisasikan atau di aktualisasikan.

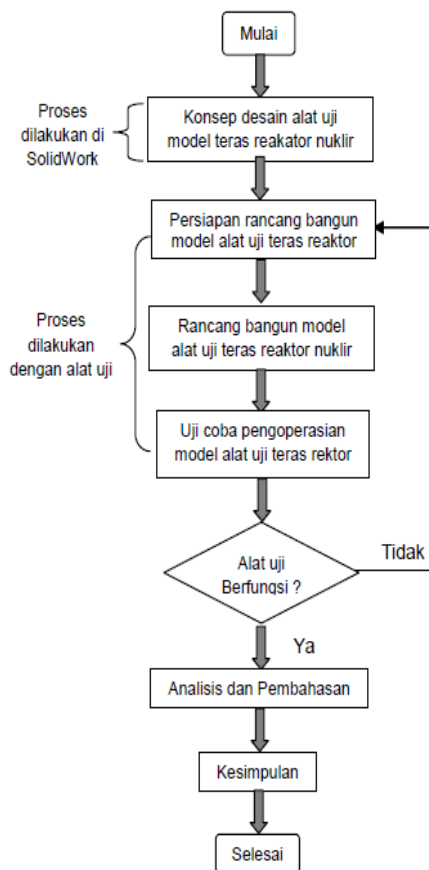
### c. Rancang Bangun Alat Uji

Rancang Bangun alat uji ini dilakukan untuk merealisasikan suatu konsep desain yang sudah ada untuk mempermudah pengujian.

### d. Pengoperasian Alat Uji

Alat Uji yang sudah dirancang bangun kemudian dioperasikan untuk mengetahui apakah alat uji tersebut berfungsi dengan baik atau sebaliknya.

Metodelogi yang digunakan dalam rancang bangun model alat uji teras reaktor nuklir ini digambarkan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) yang sistematis seperti Gambar 1. berikut ini :



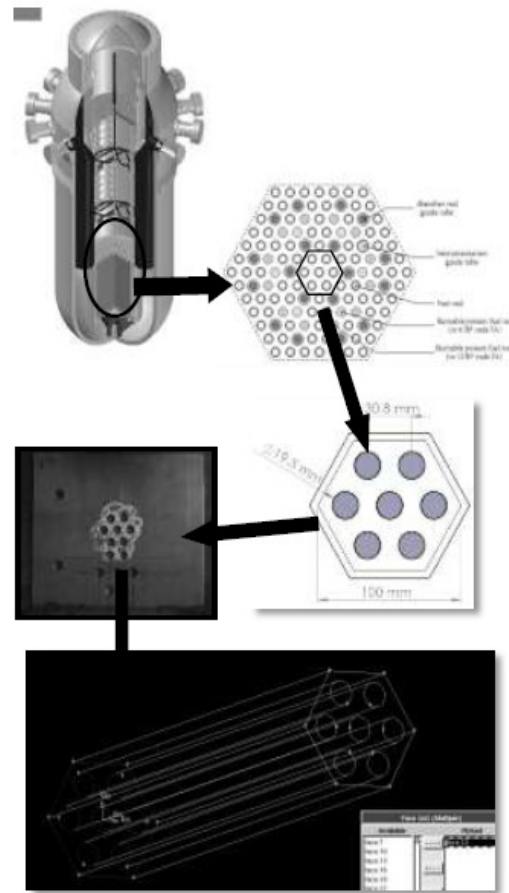
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan metodologi penelitian yang dibuat, maka tahap pertama adalah menentukan model alat uji dengan mengambil pemodelan dari teras reaktor nuklir tipe *Small Modular Reactor* (SMR). SMR yang akan dilakukan penelitian ini adalah tipe iPWR yaitu *Integral Pressurized Water Reactor*, dimana dilakukan kombinasi sistem primer dan sekunder menjadi satu sistem.

### Pemodelan Alat Uji Teras Reaktor Nuklir

Didalam teras reaktor tipe *Small Modular Reactor* (SMR) ini terdapat *fuel rod*, pada bagian tengah teras reaktor terdapat tujuh buah *fuel rod* yang akan menjadi model dalam rancang bangun alat uji. Berikut ini adalah Gambar 2. dari pemodelan alat uji.

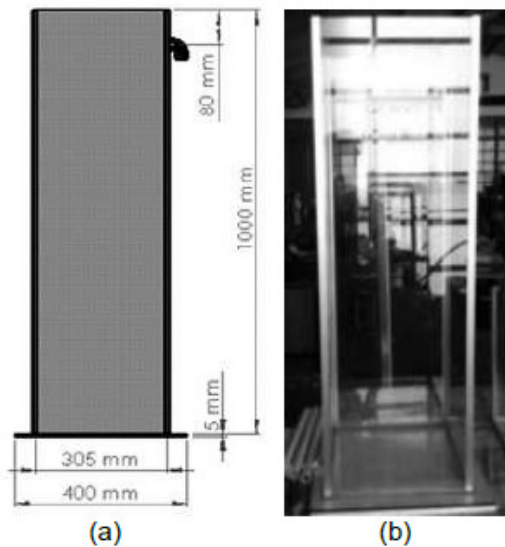


Gambar 2. Pemodelan alat uji

### Pembuatan model alat uji

Seksi uji merupakan sebuah kotak berbahan kaca (seksi uji) dengan dimensi 30 x 30 x 100 cm yang mewadahi seksi uji utama yang berisi tujuh silinder vertikal. Seksi uji dilengkapi dengan sebuah pipa yang ditempatkan pada posisi  $\pm 8$  cm dari titik pusat pipa dengan seksi uji ujung atas. Pipa tersebut berfungsi sebagai saluran keluaran air dari dalam seksi uji, dengan menggunakan pipa berdiameter 0,5 inch. Penentuan dimensi dan pemilihan material kaca (dengan ketebalan 0,5 cm) pada rancang bangun seksi uji ini dimaksudkan agar dihasilkan seksi uji yang kuat dan cukup besar, sehingga dapat digunakan untuk melakukan eksperimen perpindahan panas konveksi berikut dengan berbagai variasi bentuk fluks panas. Sedangkan pada bagian bawah juga dilengkapi kaca dengan ketebalan 0,5 cm. Tujuan dari penggunaan kaca tersebut untuk

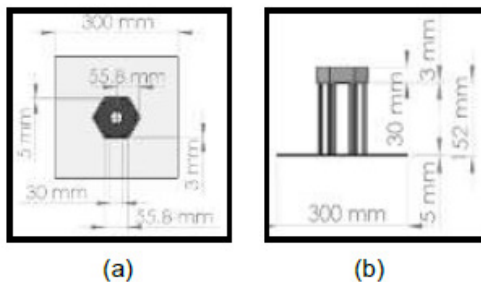
mempertahankan posisinya secara vertikal, mengingat kaca seksi uji sangat berat.



Gambar 3. seksi uji (a) Desain; (b) bentuk fisik

#### Dudukan Seksi Uji

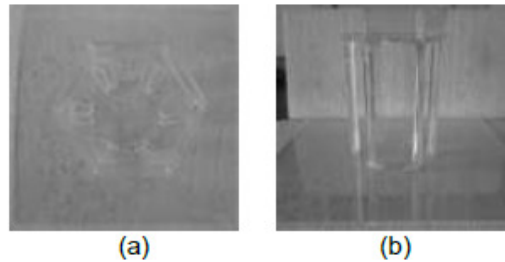
Seksi uji utama ditempatkan pada sebuah dudukan yang terbuat dari bahan *acrylic*. Bahan *acrylic* tipe transparan yang digunakan dengan tebal 0,5 cm dipilih karena harganya terjangkau, selain itu *acrylic* mudah dibentuk dan dipotong. Pada bagian bawah dudukan diberi lubang berdiameter 3 cm sebagai tempat masuknya air pendingin dari tangki air-1 menuju ke seksi uji. Selain itu dudukan seksi uji di rekatkan pada sebuah plat persegi berbahan *acrylic* dengan dimensi ukuran 30 cm × 30 cm. Tujuan dudukan seksi uji direkatkan dengan sebuah plat ialah supaya dudukan bisa dibongkar pasang untuk proses pembersihan setelah eksperimen. Dudukan seksi uji utama ditempatkan dibagian paling bawah didalam seksi uji. Dudukan seksi uji utama berfungsi sebagai penopang dari seksi uji utama.



Ga

mbar 4. Desain dudukan seksi uji utama (a). Tampak atas dan (b). Tampak depan

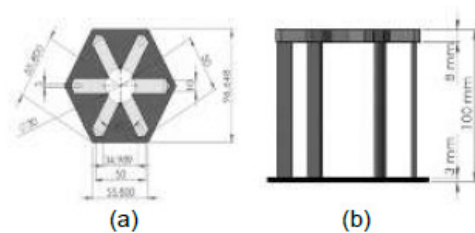
Setelah desain dibuat, maka tahap selanjutnya merancang bangun sesuai dengan ukuran yang sudah diasumsikan.



Gambar 5. Bentuk fisik (a). Tampak atas dan (b). tampak depan

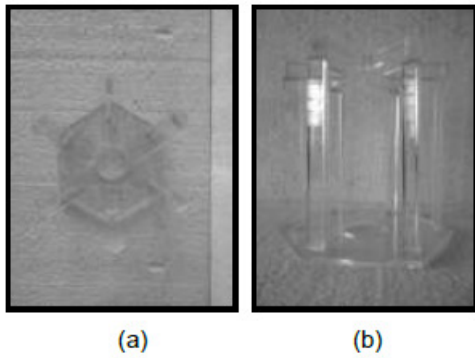
#### Distributor

Pada bagian bawah seksi uji utama ditempatkan sebuah *distributor* yang terbuat dari *acrylic* yang membentuk seperti lambang *asterisk* (bintang). Pola penempatan lubang pada *distributor* mengikuti pola posisi silinder pemanas, sehingga diharapkan dapat memberikan aliran air yang merata ke dalam sub-buluh di dalam seksi uji utama dimana pemanas belum diaktifkan (kondisi dingin).



Gambar 6. Desain distributor (a).Tampak atas dan (b). tampak depan

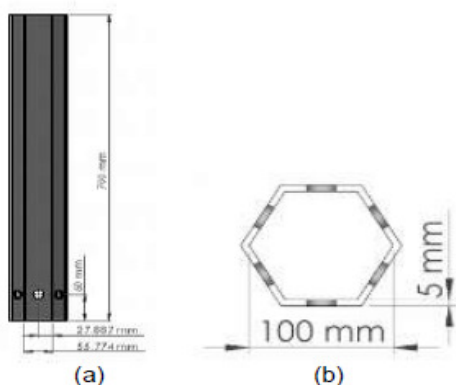
Setelah desain dibuat, maka tahap selanjutnya merancang bangun sesuai dengan ukuran yang sudah diasumsikan.



Gambar 7. Bentuk fisik distributor (a). Tampak atas (b). tampak depan

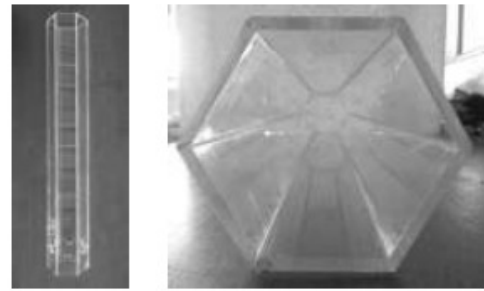
### Seksi Uji Utama

Seksi uji utama berfungsi sebagai penyekat aliran air bila pendinginan silinder pemanas (silinder uji) direncanakan berlangsung dalam modus konveksi paksa. Bahan seksi uji utama yang digunakan terbuat dari *acrylic* dengan tebal 0,5 cm. Pada bagian bawah dinding samping seksi uji utama terdapat 6 buah lubang (masing-masing berjumlah satu pada keenam sisi heksagonal) berdiameter 2 cm dengan jarak 6 cm dari bawah seksi uji utama. Lubang ini berfungsi sebagai tempat masuknya air pendingin ke dalam seksi uji utama bila pendinginan silinder pemanas (silinder uji) direncanakan berlangsung dalam modus konveksi alamiah. Seksi uji utama ditempatkan ditengah seksi uji, posisi seksi uji utama berada diatas dudukan seksi uji utama.



Gambar 8. Desain dari seksi Uji Utama (a).Tampak depan (b). Tampak atas

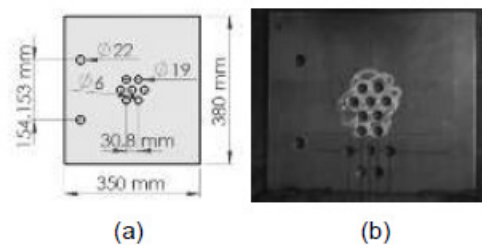
Setelah desain dibuat, maka tahap selanjutnya merancang bangun sesuai dengan ukuran yang sudah diasumsikan.



Gambar 9. Bentuk fisik seksi uji utama (a). Tampak depan dan (b). tampak atas

### Penggantung Silinder

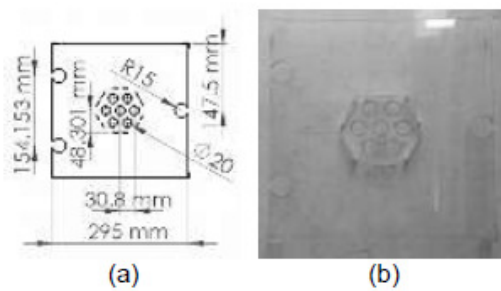
Silinder pemanas digantungkan pada sebuah plat *stainless steel* berbentuk persegi dengan dimensi ukuran 34 cm × 38 cm dengan tebal plat 0,3 cm yang membentang diatas kolom struktur seksi uji dan pada permukaan plat dilubangi tujuh buah lingkaran yang tersusun segi enam. Untuk penempatan tujuh unit silinder pemanas dengan susunan segi enam dan dua buah lubang untuk dua buah pipa untuk aliran air. Diameter lubang untuk silinder sebesar 1,9 cm dan diameter untuk lubang pipa sebesar 2,2 cm.



Gambar 10. Penggantung silinder, (a). Desain, (b). bentuk fisik

### Spacer Atas

Selain menggunakan penggantung silinder, digunakan juga *spacer* pada bagian atas untuk menjaga supaya jarak antar silinder pemanas dapat membentuk sub-buluh dengan jarak celah yang seragam. Untuk *spacer* atas digunakan sebuah plat dari bahan *acrylic* dengan tebal 0,3 cm yang mempunyai tujuh lubang dengan susunan segi enam. Lubang-lubang pada plat ini mempunyai ukuran yang sesuai dengan diameter luar silinder pemanas yaitu 1,9 cm.



Gambar 11, *Spacer* atas, (a).Desain, (b).bentuk fisik

### Silinder Pemanas

Pada penelitian ini akan menggunakan tujuh unit silinder pemanas. Masing-masing silinder mempunyai ukuran yang sama yaitu berdiameter 1,95 cm dan panjang 65 cm. Setiap satu unit silinder mempunyai dua bagian yaitu bagian yang dipanaskan (bagian aktif) sepanjang 40 cm dan bagian yang tidak dipanaskan (bagian non aktif) sepanjang 25 cm.

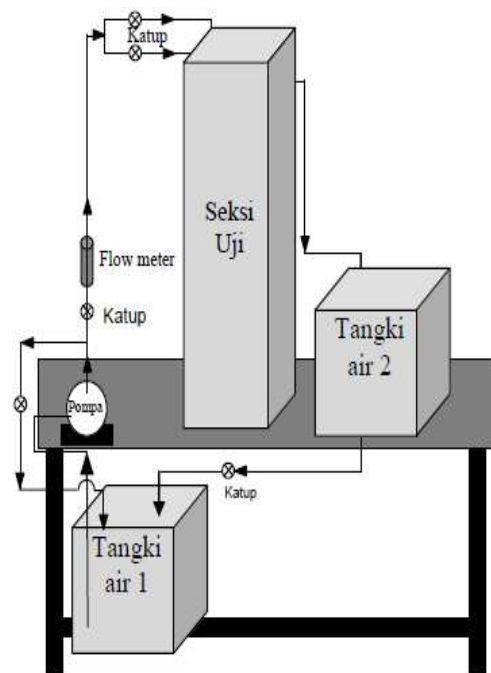


Gambar 12. Silinder pemanas (a) desain; (b) bentuk fisik

### Sistem Penyedia Air

Untuk sistem penyedia air bagi seksi uji telah dirancang dan dibangun suatu sistem penyediaan air yang terdiri dari dua buah tangki

air yang terbuat dari bahan kaca dengan bentuk seperti kotak terbuka dengan dimensi ukuran 40 cm × 40 cm × 40 cm dan dengan tebal bahan 0,5 cm. Tangki air-1 ditempatkan lebih rendah dari seksi uji. Tangki air-2 ditempatkan sejajar dengan seksi uji. Desain penempatan tangki air-1 lebih rendah dari tangki-2 dimaksudkan supaya air yang terdapat pada tangki air-2 dapat mengalir secara alamiah ketangki air-1 (tanpa bantuan pompa sentrifugal). Air dari tangki-1 dialirkan ke seksi uji dengan menggunakan sebuah pompa sentrifugal dengan debit maksimum 18  $\frac{\text{liter}}{\text{menit}}$ . Namun, dalam eksperimen ini debit maksimum yang akan digunakan adalah 500  $\frac{\text{liter}}{\text{jam}}$ . Sistem pemipaan mulai dari tangki air-1 sampai dengan seksi uji menggunakan pipa PVC dengan diameter 0,5 inch. Air yang digunakan dalam eksperimen ini adalah air yang diambil langsung dari dalam tanah.



Gambar 13. Sistem penyedia air

### Pompa Sentrifugal

Pompa yang digunakan pada eksperimen adalah pompa SHIMIZU model PS-128 BIT dengan debit air 10  $\frac{\text{liter}}{\text{menit}}$  sampai



dengan 18  $\frac{\text{liter}}{\text{menit}}$  dan mempunyai tekan hisap maksimum 9 meter. Pompa yang digunakan dalam eksperimen ini bertujuan untuk mengalirkan air dari tangki air-1 ke seksi uji. Dengan adanya katup atau kran air maka debit air yang menuju seksi uji dapat di atur sesuai kebutuhan. Apabila debit air yang dibutuhkan kecil maka pipa bypass akan mengalirkan air kembali ketangki air-1. Apabila debit air yang dibutuhkan besar tutup katup atau kran air pada pipa bypass. Dan untuk membaca debit air yang menuju seksi uji dapat digunakan alat ukur yaitu flow meter. Berikut ini adalah gambar spesifikasi pompa yang digunakan :



Gambar 14. Pompa Sentrifugal

### Regulator Tegangan

Regulator voltage berfungsi untuk mengatur tegangan (voltase) dari 0 Volt sampai dengan 300 Volt secara manual. Berdasarkan data spesifikasi dari batang silinder, maksimum tegangan yang digunakan sebesar 220 Volt. Alat ini digunakan untuk memainkan variasi panas *fluks* pada batang silinder. Dengan nilai tegangan yang diinginkan maka kuat arus didapat dengan menggunakan AVO meter. Apabila tegangan dan kuat arus sudah didapat, maka akan didapat daya. Daya dibagi dengan luas penampang silinder maka didapatlah nilai panas *fluks*.

$$q'' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1)$$

dimana  $q''$  = Heat Fluks [  $\frac{W}{m^2}$  ]

$P$  = daya [ watt ] = volt  $\times$  amper

$A$  = Luas Penampang silinder [  $m^2$  ]

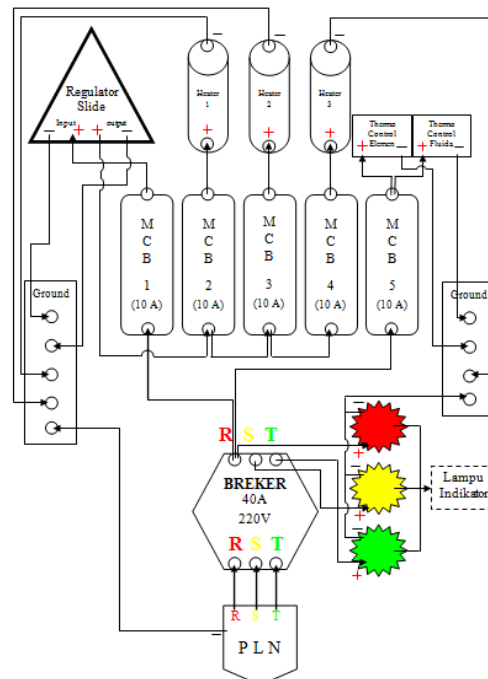
Berikut ini adalah gambar regulator tegangan yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 15. Regulator tagangan

### Kontrol Panel

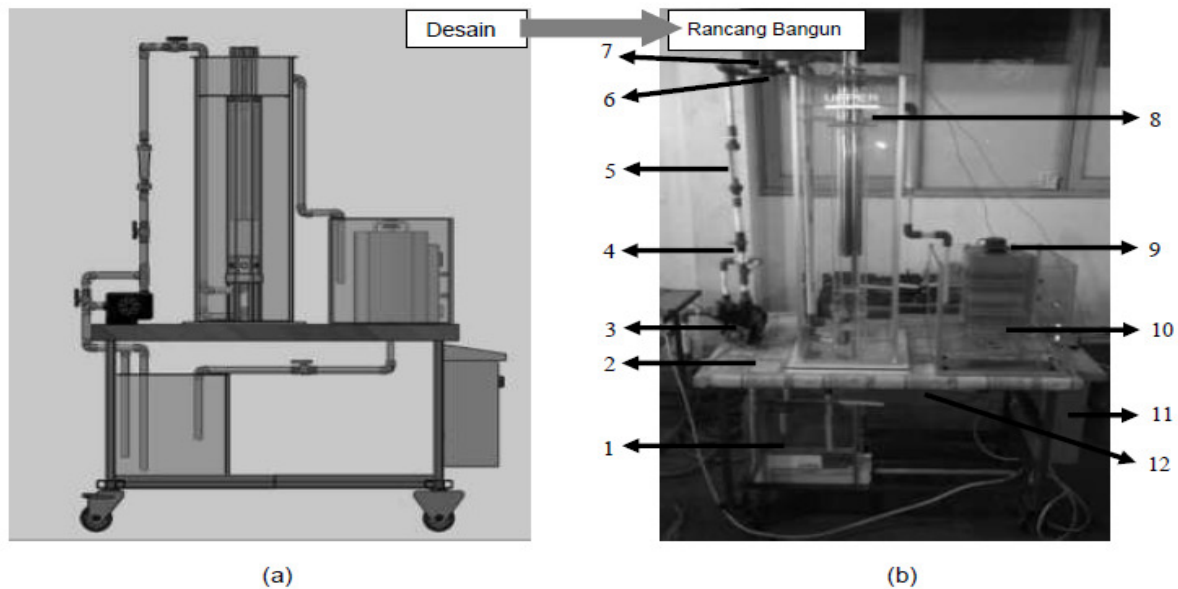
Kontrol panel merupakan wadah atau tempat yang berbentuk persegi yang didalamnya terdapat rangkaian atau instalasi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang dibutuhkan. Jenis kabel yang digunakan ialah jenis kabel tembaga tunggal. Tipe kabel yang digunakan ialah 2  $\times$  0,75 mm, artinya didalam kabel tersebut berisikan dua kawat tembaga yang masing-masing tembaga tersebut berdiameter 0,75 mm. Dan tipe 3  $\times$  1,5 mm, kabel yang berisi tiga kawat tembaga yang masing-masing tembaga berdiameter 1,5 mm.



Berikut ini merupakan Gambar model alat uji teras reaktor yang sudah selesai dibuat. Pelaksanaan uji coba model alat uji ini perlu dilakukan guna untuk mengetahui alat uji berfungsi sebelum dilakukannya pengujian eksperimental. Pelaksanaan uji coba dilakukan pada beban maksimal silinder pemanas yaitu 200 Volt dalam waktu satu jam. Setelah dalam waktu satu jam pelaksanaan uji coba tidak

mengalami gangguan atau tidak ditemukannya masalah pada alat uji, maka alat uji dinyatakan ok dan siap untuk melakukan pengujian eksperimental. Sebelum melakukan pengujian eksperimental alat uji didiamkan selama  $1 \times 24$  jam untuk mengembalikan kondisi alat uji seperti awal semula sebelum melakukan uji coba. Berikut adalah gambar model alat uji teras reaktor nuklir yang sudah selesai dibuat :

Gambar 16. Skema instalasi listrik



Gambar 17. (a). Desain model alat uji. (b). Bentuk fisik model alat uji

Keterangan Gambar :

- |                                   |                                 |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| 1. Tangki air 1.                  | 7. Katup Aliran Konveksi Paksa. |
| 2. Meja Alat Uji.                 | 8. Seksi Uji.                   |
| 3. Pompa Sentrifugal.             | 9. Pengatur Tegangan.           |
| 4. Katup Aliran Air.              | 10. Tangki Air 2.               |
| 5. Flow meter.                    | 11. Kontrol Panel.              |
| 6. Katup Aliran Konveksi Alamiah. | 12. Katup Aliran tangki air- 2. |



### Perbandingan Data Temperatur Hasil Pengujian Eksperimental dengan Hasil Simulasi untuk tipe Konveksi Paksa

Hasil pengujian eksperimental tipe konveksi paksa didapat dari model alat uji teras reaktor pada susunan sub buluh segi enam dan untuk kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi yang sudah didapat oleh peneliti sebelumnya. Apabila perbedaan nilai temperatur fluida dari pengujian eksperimental dengan simulasi memiliki selisih yang kecil, maka model alat uji yang sudah dibuat dapat berfungsi dengan baik. Akan tetapi, apabila perbedaan nilai temperatur fluida pada pengujian eksperimental dengan simulasi memiliki selisih nilai yang besar atau jauh, maka model alat uji yang dibuat tidak dapat berfungsi dengan baik. Berikut ini merupakan tabel hasil pengujian eksperimental tipe konveksi paksa untuk temperatur fluida dengan fluks panas  $500000 \text{ W/m}^2$  pada kecepatan  $0,3 \text{ m/s}$ . Temperatur diambil berdasarkan jarak silinder pemanas yang aktif. Pada penelitian ini jarak silinder pemanas yang aktif ialah  $40 \text{ cm}$ , untuk memudahkan penelitian, jarak silinder pemanas dibagi menjadi empat bagian. Berikut merupakan tabel data hasil dari pengujian eksperimental tipe konveksi paksa.

Tabel 1. Data pengujian Eksperimental tipe konveksi paksa untuk Temperatur fluida [K] dengan fluks panas  $500000 \text{ W/m}^2$  pada kecepatan  $0,3 \text{ m/s}$ .

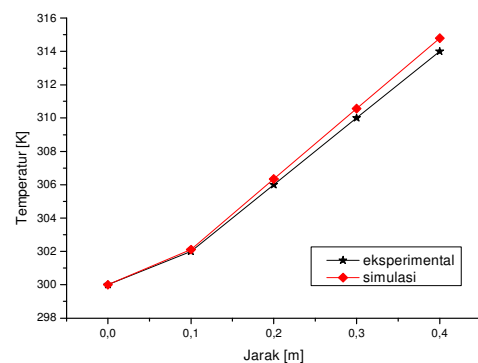
Jarak [m]	Hf= $500000 \text{ [W/m}^2]$
0	300
0,1	302
0,2	306
0,3	310
0,4	314

Data temperatur simulasi didapat dari penelitian yang dilakukan sebelumnya. Dengan menggunakan software CFD (*Computational Fluid Dynamic*) yang terdiri dari Gambit dan Fluent. Berikut ini adalah tabel data simulasi tipe konveksi paksa.

Tabel 2. Data Hasil Simulasi tipe konveksi paksa untuk Temperatur Fluida [K] dengan variasi fluks panas  $500000 \text{ W/m}^2$  pada kecepatan  $0,3 \text{ m/s}$ .

Jarak [m]	Hf= $500000 \text{ [W/m}^2]$
0	300.00067
0,1	302.11444
0,2	306.34192
0,3	310.56946
0,4	314.79694

Dari tabel data temperatur fluida pada pengujian eksperimental dan simulasi diatas, maka dapat dibuat Grafik untuk mengetahui performansi dari model alat uji yang sudah dibuat.



Gambar 18. Hubungan antara temperatur fluida terhadap jarak atau ketinggian dari batang silinder untuk melihat perbedaan dari pengujian eksperimental dengan simulasi dengan fluks panas  $500000 \text{ W/m}^2$  pada kecepatan aliran fluida  $0,3 \text{ m/s}$ .

Nilai temperatur fluida pada hasil eksperimental dengan hasil simulasi memiliki selisih antara  $0,0001$  sampai dengan  $0,8 \text{ K}$ . Hal ini dikarenakan adanya faktor - faktor yang menyebabkan turunnya performansi atau kinerja pada alat uji. maka dapat disimpulkan bahwa model alat uji yang sudah dibuat memiliki performansi yang cukup baik.

### Kesimpulan

Dari hasil proses Rancang Bangun model alat uji teras reaktor nuklir dengan tujuh buah silinder pemanas dengan susunan sub buluh segi enam dan dari hasil Pengujian Eksperimental yang dilakukan dalam konveksi

paksa, memberikan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pertimbangan pemilihan bahan dan toleransi ukuran dari ukuran desain kedalam bentuk fisik sangat mempengaruhi hasil pengujian eksperimental.
2. Semakin kecil selisih perbandingan antara temperatur fluida pada pengujian eksperimental dengan temperatur fluida pada simulasi, maka semakin baik performansi alat uji.
3. Apabila asumsi nilai variasi fluks panas sama atau tetap, maka variasi kecepatan mempengaruhi temperatur fluida. Semakin besar kecepatan aliran fluida di sub buluh maka semakin kecil temperatur fluida, hal ini disebabkan karena penyerapan panas semakin berkurang. Perpindahan panas yang dilakukan oleh fluida menjadi sedikit disebabkan oleh kecepatan fluida masuk di sub buluh semakin besar.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi Kementrian Riset, Teknologi dan DIKTI Republik Indonesia, yang telah memberikan dana hibah penelitian bersaing untuk mengembangkan penelitian mengenai reaktor nuklir CAREM-25 pada tahun 2015.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bang, I. C., and Jeong, J. H., 2011, *Nanotechnology for Advanced Nuclear Thermal-Hydraulic and Safety: Boiling and Condensation*, Nuclear Engineering and Technology, Volume 43 No 3
- Buongiorno, et. al, 2008, *Alumina Nanoparticles Enhance the Flow Boiling Critical Heat Flux of Water at Low Pressure*, Journal of Heat Transfer, Volume 130
- Das, S.K., et al, 2007, *Nanofluids Science and Technology*, Jhon Wiley and Sons, Inc., United State of America
- Gimenez., M.O., 2011, *CAREM Technical Aspects, Project and Licensing Status*, Interregional Workshop on Advanced Nuclear Reactor Technology, Vienna
- Li, C. H., Peterson, G.P., 2010, *Experimental Studies of Natural Convection Heat Transfer Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/DI Water Nanoparticle Suspensions (Nanofluids)*, Advances in Mechanical Engineering, Volume 2010, Hindawi Publishing Corporation
- Nazar, R., 1997, *Kaji Teoritik Aspek Termohidrolik Reaktor Riset Pada Daya 2 MW*, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Pandey, A.K., 2011, *A Computational Fluid Dynamics Study of Fluid Flow and Heat Transfer in a Micro Channel*, Tesis Program Magister, National Institute of Technology Rourkela, India
- Ramadhan, A.I, 2012, *Analisis Perpindahan Panas Fluida Pendingin Nanofluida Di Teras Reaktor PWR (Pressurized Water Reactor) Dengan Computational Fluid Dynamics*, Tesis Program Magister, Universitas Pancasila, Jakarta
- Umar, E., 2007, *Studi Termohidrolik Pada Reaktor Nuklir-Penelitian Berbahan bakar Silinder*, Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Wang, X. Q., and Mujumdar, S. A., 2008, *A Review On Nanofluids-Part II: Experiments and Applications*, Brazilian Journal of Chemical Engineering, Volume 2008, Brazil
- Wong, K. V., and Leon, O.D., 2010, *Applications of Nanofluids : Current and Future*, Advances in Mechanical Engineering, Volume 2010, Hindawi Publishing Corporation
- Yuliasyari, F., 2007, *Perpindahan Kalor Nanofluida Pada Sistem Pendingin Komponen Elektronik*, Tesis Program Magister, Universitas Indonesia, Jakarta